

УДК 551.524:551.583(100)

## Глобальный климат Земли и динамика его изменения

Э.И. Терез<sup>1</sup>, Г.А. Терез<sup>2</sup>, И.Э. Терез<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, 95007, Украина, Симферополь

<sup>2</sup> Крымская астрофизическая обсерватория, 98409, Украина, Крым, Научный

<sup>3</sup> ChevronTexaco, Research Department, USA, TX 77459, Houston

Поступила в редакцию 30 ноября 2003 г.

**Аннотация.** В статье обсуждается изменение глобальной температуры Земли за последнюю тысячу лет. Показано, что крупномасштабные природные катастрофы, такие как извержение вулкана Кракатау и падение Тунгусского метеорита, сравнимые по масштабу с ядерной войной, не привели к заметному изменению климата. Обсуждается гипотеза, предполагающая, что начавшееся в XX веке потепление вызвано не антропогенным эффектом, а вариациями в системе солнечно–земных связей, что представляет собой начало нового климатического цикла, который в дальнейшем будет развиваться по своим естественным законам. Рассматриваются эффективность и целесообразность Киотского протокола.

GLOBAL CLIMATE AND THE DYNAMICS OF ITS CHANGE, by Terez E.I., Terez G.A., and Terez I.E. The article discusses changes of the Earth's global temperature for the last thousand years. It is shown that large-scale natural disasters, such as Krakatau volcano eruption or Tunguski meteorite fall, although being comparable in scale to the nuclear conflict, did not cause global climate changes. A hypothesis is suggested that the warming, which started at the beginning of the 20th century, was caused not by the anthropogenic effects, but by the natural variations in the solar-terrestrial system. It is conjectured that this warming may be a starting point of a new climatic cycle, which will be further developing according to natural laws. The efficiency of the 1997 Kyoto protocol is also discussed.

**Ключевые слова:** климат, динамика изменения, антропогенное влияние, солнечно–земные связи

---

## 1 Введение

Климат (от греческого klima, родительный падеж – klimatos) – буквально наклон, подразумевается наклон земной поверхности к солнечным лучам. Этот термин впервые ввел древнегреческий астроном Гиппарх (190 – 120 гг. до н.э.), разделивший Землю на пять широтных зон: полярные, умеренные и тропическую, отличавшиеся высотой Солнца над горизонтом. В классическом, “географическом”, понимании климат – это многолетний режим погоды, свойственный той или иной местности на Земле и являющийся одной из ее географических характеристик. При этом под многолетним режимом подразумевается совокупность всех условий погоды в данной местности за значительный период времени (несколько десятков лет) и типичная внутригодовая смена этих условий. К середине 20-го века понятие климата, относившееся раньше к условиям земной поверхности, было распространено и на Мировой океан, и на высокие слои атмосферы, а в число климатических

показателей вошли параметры элементов теплового баланса Земли: солнечная радиация, радиационный баланс и т.д. Климат стал характеризоваться как статистический ансамбль состояний, проходимых климатической системой: океан – суша – атмосфера за периоды времени в несколько десятилетий. С этой точки зрения, теория изменения климата является статистической динамикой климатической системы. Построение такой теории является чрезвычайно сложной физической задачей. (Теория хаоса динамических систем, эволюционирующих на имеющихся в их фазовых пространствах предельных множествах со сложной структурой – так называемых странных аттракторах (Лоренц, 1970). В общем виде задача вычисления климатической функции (т.е. распределений вероятностей для значений всех параметров, характеризующих климатическую систему, – температуры, давления, вектора скорости ветра, концентрации парниковых газов, аэрозолей и т.д. от пространственных координат и времени) при современном уровне вычислительной техники не выполнима. Задачу можно существенно упростить, если ввести понятие о “глобальном климате” – климатической функции, интегрированной по всей земной поверхности. Глобальный климат Земли, в принципе, может характеризоваться всего лишь одним параметром – глобальной температурой (т.е. среднегодовой температурой) приповерхностного слоя воздуха всего земного шара. Изменение глобальной температуры определяется рядом взаимосвязанных астрономических и геофизических явлений. Эта взаимосвязь основана на механике небесных тел и на тепловом равновесии планет в целом и их внешних оболочек – атмосфер.

Из всех планет солнечной системы наибольший интерес, естественно, представляет планета Земля, ее глобальный климат и динамика его изменения. Каковы причины этих изменений, как долго будет продолжаться нынешнее потепление и существует ли это потепление на самом деле? Может быть, это просто результат изменения техники измерений температуры и создается эффект кажущегося потепления? Для выяснения этих вопросов необходимо, прежде всего, выяснить каким способом и насколько надежно определяется глобальная температура Земли.

## 2 Методы измерения температуры Земли

Самые ранние измерения температуры были собраны и обобщены немецким метеорологом Генрихом Вильгельмом Дове. Эти данные представляют научный интерес, но имеют ограниченное значение, т.к. они не охватывают внутренние области Азии, Южной Америки и Австралии. Другой энтузиаст науки, капитан ВМС США Мэтью Маури, впервые в 1830 – 1840 гг. начал измерение температур на море и предложил методику их стандартизации. С 1850 г. национальные службы стали согласованно собирать и сохранять данные наблюдений наземных температур. В 1853 г. в Брюсселе было подписано международное соглашение по проведению измерений, а также сбору и обмену наземными и морскими метеорологическими данными. Метеорологическая сеть стала быстро расти и через сто лет к концу 1950 г. стала всемирной, распространившись и на Антарктиду. Однако эти измерения выполнялись не всегда по одинаковым методикам, и их трудно, а иногда и невозможно было сопоставлять. Например, измерения температуры на метеостанциях существенно зависят насколько близко они расположены от большого города, от рельефа местности; морские измерения сильно зависят от высоты палубы корабля, методики измерений и т.д.

В 1980 – 1990 гг. группа американских и английских ученых под руководством Ф.Д. Джоунса и Т.М. Уигли провели фундаментальное исследование (Джоунс и др., 1986; Джоунс и Уигли, 1990). Они собрали и проанализировали все существующие архивные данные наблюдений температуры с 1850 г. по 1990 г. В результате получилась база данных, включающая измерения 1584 метеостанций в Северном полушарии (из 2666 первоначальных) и 293 в Южном (из 610). По данным этих станций были рассчитаны средние значения температур в регионах, полушариях и глобальные температуры (по годам) для всей Земли. Следует отметить, что средние значения температур по полушарию для суши и для моря даже в масштабах времени, равных одному году, сильно коррелируют друг с другом, а для более длинных периодов полностью совпали. Из проделанной работы следовало два вывода: 1) глобальный климат существенно меняется от года к году, 2) с начала XX-го столетия до 1990 г. климат на Земле потеплел на 0,5 С.

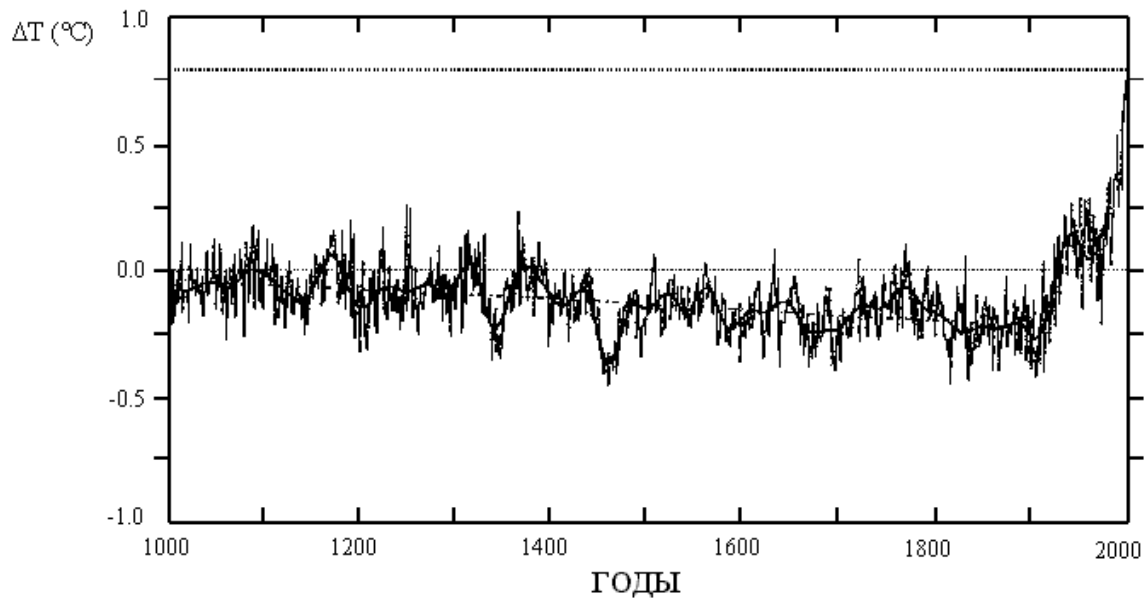
Какова точность полученных данных? Авторы данной работы считали, что средние температуры за 10-летние периоды определены с погрешностью не более  $0^{\circ}1$  С. Причем наиболее надежные данные по температурам приходятся на 1950 – 1979 гг., так называемый “эталонный период”. Исследования Джоунса и Уигли многократно проверялись (Джоунс и Бриффа, 1992; Джоунс и др., 1997; Джоунс и др., 1998; Лэдли и др., 1999; Манн и др., 1998, 1999; Николс и др., 1996; Хансен и Лебедев, 1987). В некоторых работах, например (Лэдли и др., 1999), даются более осторожные оценки, только  $0^{\circ}3$  С –  $0^{\circ}6$  С за последние 150 лет. Однако, согласно последнему отчету Межправительственного комитета по климатическим изменениям (IPCC, 2001), в котором тщательно проанализированы все данные, убедительно показано, что глобальная температура выросла за последние 100 лет на  $0^{\circ}6$  С, что подтверждает выводы Джоунса и Уигли (1990). Небольшие количественные расхождения не имеют особого значения. Важно то, что по данным всех исследователей последние 100 лет характеризуются глобальным потеплением. С 1979 г. к измерениям температур, проводимым национальными метеослужбами, объединенными в Мировую службу погоды, подключились спутниковые измерения, проводящие регулярное сканирование температуры по всей поверхности земного шара, включая 70% поверхности океанов.

Наконец, в последние десятилетия были разработаны методы, позволяющие (по соотношению изотопов  $^{16}\text{O}$  и  $^{18}\text{O}$  в ядрах льдов Антарктики и Гренландии, по анализу осадочных океанических пород, по осадочным отложениям рек и т. д.) восстановить данные по глобальной температуре на десятки тысяч лет в прошлом, используя для калибровки температуру “эталонного периода” 1950 – 1979 гг. На рис. 1 в качестве примера показан график реконструкции глобальной температуры за последнюю тысячу лет. Из рис. 1 видно, что максимальные температуры были в начале тысячелетия (1000 – 1300 гг.), так называемый Средневековый климатический оптимум. В это время, согласно историческим хроникам, Гренландия была свободной ото льдов и представляла собой, как отмечено в норвежских сагах, “зеленую землю”. Но позже глобальная температура стала уменьшаться, и Гренландия покрылась материковыми ледниками. Самый холодный период в XIV – XVII веках в европейских летописях отмечен суровыми зимами. В XVIII веке произошло небольшое потепление с максимумом в районе 1770 г. Но в XIX веке снова продолжалось понижение глобальной температуры вплоть до 1900 г., после чего началось быстрое потепление глобального климата.

Уже к 1940 г. в Гренландском море количество льдов сократилось вдвое, а в Баренцовом – почти на треть. В 1940 г. это потепление снова сменилось кратковременным похолоданием. Но с 1979 г. начался драматический рост глобальной температуры. Этот эффект зарегистрирован не только инструментально по данным Мировой службы погоды, но подтверждается самым очевидным образом по уменьшению толщины льдов Северного Ледовитого океана на 40% за последние 50 лет (Леви, 2000). Быстро истощаются и огромные ледники в Антарктиде. Так, по данным А. Шеферд 2000, исследователя Центра полярных наблюдений и моделирования в Колледже Лондонского университета, ледники Pine Island, Thwaites, Smith (Западно – Антарктический ледниковый пояс) потеряли более чем 40, 40 и 70 км<sup>3</sup> льда, соответственно, за время между 1991 и 2001 гг. Если скорость таяния ледников сохранится, то все эти три ледника исчезнут через 550, 1500 и 150 лет, соответственно.

### 3 Причины изменения глобального климата

На сегодняшний день достоверно установлено, что климат Земли никогда не был постоянным. Причем эти изменения в прошлом были весьма значительными и иногда происходили очень быстро. Поверхность Земли покрывалась ледниками, а затем эти ледники исчезали и на значительной территории Земли устанавливался тропический климат. В прошлом Земли обнаружено несколько десятков таких ледниковых периодов. Повторялись они нерегулярно, промежутки между ними составляют от 40 тысяч до нескольких сотен тысяч лет. Последний ледниковый период начал отступать всего 20 тысяч лет назад. И сегодня еще 14 миллионов квадратных километров поверхности Земли занято ледниками, т.е. мы живем в так называемом малом ледниковом периоде. Следует отметить, что в эпоху больших оледенений масса льда, собиравшегося в ледниках на суше, была очень велика, его объем вдвое превышал объем современных ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии. Вся



**Рис. 1.** Реконструкция вариаций глобальной температуры северного полушария с 1000 г. н. э. до настоящего времени (Манн и др., 1998, 1999; Джоунс и Бриффа, 1992). Тонкие кривые обозначают реконструкцию и данные непосредственных измерений с 1850 по 2000 г.г. Жирная кривая – сглаженная кривая, пунктирная линия – линейный тренд с 1000 г. по 1850 г.

эта вода изымалась из мирового океана. Поэтому уровень его многократно опускался более чем на 100 м ниже современного. Это подтверждается независимыми геологическими данными. Сейчас уровень мирового океана меняется очень медленно. За период с 1890 по 1950 гг. он возрос всего на 10 см, а с 1950 г. остается практически постоянным (колебание  $\pm 3$  см).

Каковы же возможные причины таких значительных изменений климата? Наиболее очевидные из них следующие:

1. Изменения интенсивности солнечной радиации, вызванные орбитальным движением Земли. По идее самый главный вклад в формирование климата должен вносить радиационный баланс Земли. Астрономическая теория циклических изменений климата была создана известным югославским астрономом Миланковичем (Миланкович, 1939). Основная причина, влияющая на долговременные колебания климата по теории Миланковича, – это изменение эксцентриситета орбиты Земли вокруг Солнца и прецессия оси вращения Земли. Его теория дала возможность вычислить времена ледниковых периодов прошлого. И геологические возрасты предыдущих оледенений, в общем, совпадают с расчетами Миланковича. Но поскольку эти климатические изменения могут происходить только в долговременной шкале, десятков тысяч и сотен тысяч лет, в данной статье они не рассматриваются.
2. Изменения в циркуляции мирового океана. В глубинах океана накопилась огромная отрицательная тепловая энергия. Отрицательная потому, что средняя температура океана  $3^{\circ}\text{C}$ , а земной поверхности  $15^{\circ}\text{C}$ . Поэтому всякое усиление перемешивания глубинных вод океана с поверхностными приводит к похолоданию климата. Этот эффект может проявляться как в кратковременном масштабе десятков и сотен лет, так и на временном интервале сотен тысяч и миллионов лет. (Изменение в циркуляции океанов, вызванное континентальным смещением (дрейфом) материков согласно известной теории Вегенера (Вегенер, 1929). Кроме того, в масштабах тысячелетий океаны контролируют химический состав атмосферы и, следовательно, радиационное равновесие всей климатической системы.
3. Кратковременные вариации (в шкале десятков и сотен лет) в солнечной энергетической освещенности.

ценности, что, как показано рядом авторов, коррелирует с вариациями солнечной активности. Этот фактор до последнего времени не достаточно учитывался при разработке климатических моделей.

4. Влияние человеческой деятельности или антропогенный фактор.
5. Наконец, целый ряд исследований, выполненных в последние годы, позволяет предположить, что могут существовать некоторые, пока еще неясные циклические процессы в системе космос (взаимодействие Солнца и планет) – гидросфера – атмосфера.

Все эти вопросы были проанализированы в монографии К.Я.Кондратьева (Кондратьев, 1992). Однако за последнее десятилетие получен целый ряд принципиально новых научных результатов, особенно в области солнечно – земных связей. В связи с этим, необходимо снова вернуться к рассмотрению проблемы динамики глобального климата. Главная проблема, которая в настоящее время вызывает наибольший интерес и тревогу у мировой общественности, – это антропогенное влияние на климат. Насколько оно значительно в сравнении с природными явлениями и в чем проявляется?

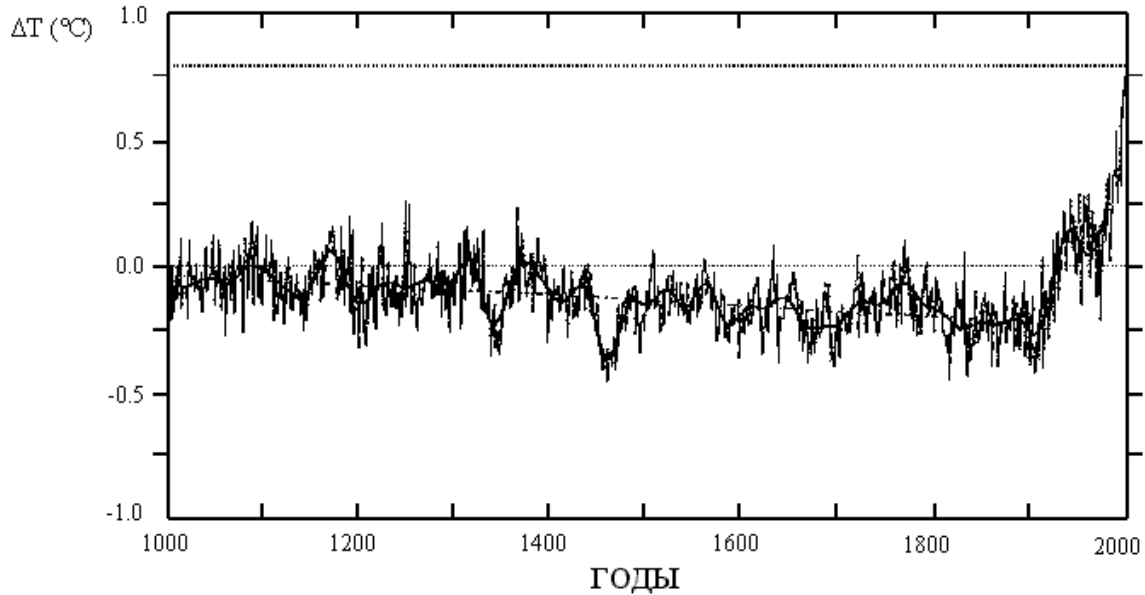
#### 4 Антропогенный эффект и изменение климата

По-видимому, основными факторами антропогенного воздействия на климат являются увеличение концентрации парниковых газов, а также увеличение выбросов аэрозолей в атмосферу. Основные парниковые газы – это водяной пар ( $H_2O$ ), углекислый газ ( $CO_2$ ), озон ( $O_3$ ), закись азота ( $N_2O$ ), метан ( $CH_4$ ) и, в меньшей степени, ряд хлорфторуглеродородных соединений (Кароль, 1996). Увеличение концентрации этих газов приводит к увеличению поглощения излучения от Земли, которое имеет место в инфракрасной области спектра, (максимум излучения в области 8 – 13 мк). Это вызывает потепление атмосферы и, следовательно, в свою очередь, поверхности Земли.

Рассмотрим влияние главных парниковых газов: водяного пара и углекислого газа, с одной стороны, являющихся главным условием существования жизни на Земле, а с другой стороны, на долю которых приходится около 95% всего парникового эффекта, подогревающего атмосферу на  $33^\circ C$ . Между ними есть принципиальная разница. Водяной пар в атмосфере является наименьшей по массе частью свободной воды, находящейся в гидросфере и криосфере в основном в жидкой и твердой форме. Масса водяного пара определяется притоком солнечной радиации и температурой воздуха и не может существенно изменяться при постоянстве этих факторов. Так как в геологическом прошлом происходили заметные изменения климата, количество водяного пара в атмосфере также изменялось в соответствии с колебаниями глобальной температуры. Однако эти изменения массы водяного пара были следствием, а не причиной изменения климата. Вследствие положительной обратной связи водяной пар при каждом очередном похолодании или потеплении климата лишь усиливал этот процесс. Точно так же водяной пар является следствием, а не причиной существования морей и океанов. Его прямое влияние на биосферу несущественно по сравнению с его косвенным влиянием как источника воды, выпадающей в виде осадков.

Углекислый газ, как в климатических условиях геологического прошлого, так и в условиях современного климата может существовать только в газообразном состоянии. При этом его концентрация в атмосфере может меняться в широких пределах вне зависимости от внешней температуры. Наоборот, рост концентрации  $CO_2$  вследствие парникового эффекта теоретически должен приводить к повышению глобальной температуры Земли.

В настоящее время является общепризнанным, что возрастание парниковых газов на протяжении XX века является следствием человеческой активности. Однако нет четкой корреляции между изменением температуры Земли и возрастанием концентрации парниковых газов в XX веке. Так, как видно из рис. 1, глобальная температура между 1945 г. и 1979 г. немного понизилась. В то же время это был период быстрого роста мировой экономики. В докладе Межправительственной комиссии по климату (IPCC, 1996) это несоответствие объясняется эффектом охлаждения за счет отражения части солнечной радиации, вызванной сульфатными аэрозолями при горении угля и другого топлива. Однако это объяснение не может рассматриваться как удовлетворительное. Влияние аэрозолей – фактор очень неопределенный и недостаточный в данном случае (Тет и др., 1996;



**Рис. 2.** Наблюдаемый тренд глобального озона в добсоновских единицах. ( $1 \text{ DU} = 1 \times 10^{-3} \text{ атм} \cdot \text{см}$ ). 1 – данные наземных измерений (Терез Э. и Терез Г., 1996), 2 – измерения Nimbus 7 TOMS, 3 – Meteor TOMS, 4 – Earth Probe TOMS.

Пеннер и др., 1998; Хансен и др., 1998). Температура особенно быстро возрастала в два последние десятилетия. Однако, количество  $\text{CO}_2$  увеличивалось монотонно, а концентрация метана вообще стабилизировалась (Хансен и др., 1998). В работах (Терез Э. и Терез Г., 1994, 1996) показано, что истощение стратосферного озона, наблюдаемое в последние два десятилетия XX века, вызваны, по-видимому, не антропогенным эффектом, а объясняется циклическими процессами в атмосфере. По данным последних измерений (Кароли, 2001), общее содержание озона, как и предсказывалось, начало возрастать, (см. рис. 2). К 2040 – 2050 гг. глобальный озон, вероятно, снова достигнет своего максимума, а озоновая “дыра” над Антарктидой, соответственно, сократится до минимума.

Наконец, нельзя полностью исключить и гипотезу, что потепление климата является не следствием, а причиной роста концентрации углекислого газа в атмосфере. Прогрев океана приводит к уменьшению растворимости  $\text{CO}_2$  в морской воде и, следовательно, к выбросу излишков углекислого газа в атмосферу. Этот эффект имеет четкий сезонный цикл, регистрируемый многочисленными атмосферными станциями. Причем, чем севернее расположена станция, тем больше разница температур лета и зимы и, соответственно, больше разница в среднесезонной концентрации  $\text{CO}_2$ .

## 5 Антропогенный эффект и природные катастрофы

Рассмотрим предельный случай самого мощного антропогенного воздействия на климат, которое бы произошло в случае тотального ядерного конфликта. За годы холодной войны в мире было накоплено 50 000 единиц ядерного оружия, мощность которого оценивается в  $1.3 \times 10^4$  Мгт тротила. При этом с 1945 по 1980 гг. был проведен 541 атмосферный взрыв с общим эквивалентом 440 Мгт (Яворовский, 1999). Обсуждение возможных последствий ядерной войны было предметом широкой дискуссии в СССР и США в 70-е – 80-е годы. Были рассчитаны модели, согласно которым в случае ядерного конфликта гигантские облака аэрозолей (сажа, пыль и др.) на многие месяцы должны закрыть обширные районы Земли от Солнца. Произойдет резкое снижение температуры. Согласно расчетам при взрыве ядерных зарядов суммарной мощностью  $10^4$  Мгт так называемая “ядерная зима” в средних широтах северного полушария будет длиться полтора месяца. Причем температура у

поверхности Земли снизится до  $-15^{\circ}\text{C} \div -25^{\circ}\text{C}$  (Турко и др., 1983) и даже, согласно (Кондратьев и др., 1985) до  $-23^{\circ}\text{C} \div -53^{\circ}\text{C}$ . Однако есть серьезное основание сомневаться в правильности этих модельных расчетов. Дело в том, что в прошлом Земли уже были неоднократно естественные катастрофы, по масштабам сопоставимые с ядерной войной. Только за последние сто с небольшим лет таких катастроф было три: взрыв вулкана Кракатау (август 1883 г.), падение Тунгусского метеорита (июнь 1908) и взрыв вулкана Катмай на Аляске (июнь 1912 г.). Энергия, выделившаяся при взрыве Тунгусского метеорита, оценивается в  $10^{16} - 10^{17}$  джоулей, что соответствует 10 – 100 Мгт тротила. Однако после падения Тунгусского метеорита никаких заметных аномалий в климате северного полушария Земли не было зарегистрировано. Взрыв вулкана Кракатау характеризовался гигантским выбросом в атмосферу вулканической породы, пепла и др. продуктов ( $\approx 19 \text{ км}^3$ ). Это соответствует энергии взрыва порядка  $10^3$  Мгт. Пыль, попавшая в высокие слои атмосферы (до 80 км), распространилась по всему земному шару, вызывая необычные оптические эффекты. Однако ни после взрыва Кракатау, ни после сравнимого по силе взрыва вулкана Катмай существенных отклонений в глобальной температуре Земли также отмечено не было. Несоответствие между теоретическими моделями и реальными последствиями крупных природных катастроф заставило теоретиков быть более осторожными в прогнозах. Так, в более поздней работе (Туун и др., 1994) было получено, что взрыв мощностью  $10^5 - 10^6$  Мгт (что, в принципе, невозможно сделать искусственным способом) вызовет понижение глобальной температуры Земли только на несколько градусов.

## 6 Климатические модели и солнечно – земные связи

Попытки моделировать климат предпринимались уже давно. Первыми, кто поняли необходимость привлечения математики для моделирования климата, были советский астроном А.А. Фридман и английский математик Люис Ф. Ричардсон. Они совершенно правильно понимали под погодой мгновенное состояние климатической функции. Эта функция зависит от пространственных координат и времени. В данный момент состояние атмосферы может быть зафиксировано с помощью сети датчиков, распределенных по всей земной поверхности (включая и океан). Задача состоит в вычислении динамики параметров атмосферы как функции времени, что представляет собой огромный объем вычислительной работы. Поэтому создавать модели глобального климата и динамики его изменения на многие годы вперед стало возможным лишь лет 20 назад, когда появились первые суперкомпьютеры, способные хранить и обрабатывать гигантские объемы информации. На сегодняшний день существуют около 20 климатических моделей. Все они пока не могут точно описать не только будущие климатические изменения, но и целый ряд процессов, происходящих в атмосфере сегодня. Отметим некоторые принципиальные трудности, встречающиеся при моделировании глобального климата.

Весьма неопределенная ситуация с оценкой влияния облаков, покрывающих примерно половину земной поверхности. Благодаря спутниковым измерениям установлено, что увеличение количества облаков на низких высотах приводит к охлаждению, тогда как возрастание их количества на больших высотах – к нагреванию планеты. Но, в общем, облачный покров суммарно вызывает охлаждение земной поверхности. Причем точная величина этого охлаждения варьируется в пределах от 17 до 35 Вт/м<sup>2</sup>. (Оринг и Клэш., 1980; Раманатан и др., 1989; Ардани и др., 1991). Какова природа возникновения глобального облачного покрова? Еще в 1959 г. Неем (1959) была высказана гипотеза о возможном влиянии космических лучей на климат. Он считал, что ионы, производимые космическими лучами, могут являться центрами облакообразования в нижней атмосфере. Свенсмарк и Фриис-Кристенсен (1997), исследуя глобальный облачный покров, наблюдаемый со спутников, экспериментально подтвердили, что наблюдаемая вариация 3% – 4% глобальной облачности в течение последнего солнечного цикла очень сильно связана с потоком космических лучей. Причем, этот эффект был более четко выражен на высоких широтах, что согласуется со щитовым эффектом магнитного поля Земли.

Ситуация еще более драматична с водяным паром, который является основным парниковым газом. В современных моделях водяной пар имеет положительную обратную связь, усиливая нагрев,

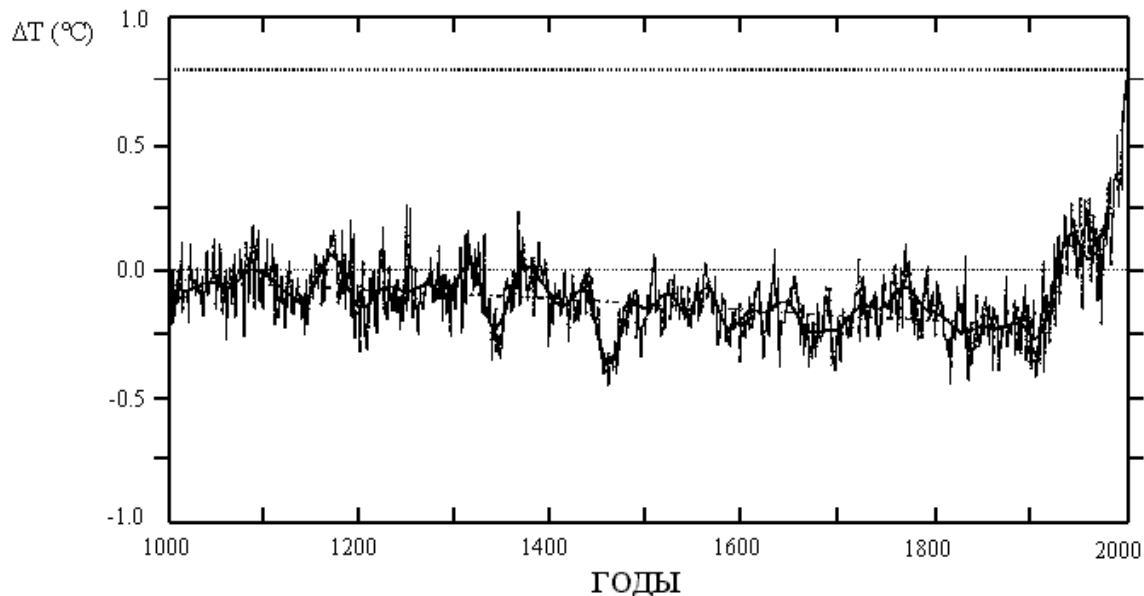
вызванный углекислым газом. Повышение нагрева земной поверхности должно привести к повышенному испарению и, таким образом, к возрастанию концентрации водяного пара. Но именно концентрация водяного пара в верхней тропосфере определяет будет обратная связь положительной или отрицательной (Линдзен, 1990; Спенсер и Брезвел, 1997). Есть разные мнения на этот счет.

Еще одна проблема моделирования заключается в том, что очень сложно оценить атмосферный аэрозоль, который в значительной мере (хотя и косвенно) воздействует на радиационный бюджет, обеспечивая конденсацию облачных ядер, что, в конечном счете, приводит к образованию облаков. В настоящее время очень мало надежных данных по оптической толщине атмосферного аэрозоля. Спутниковые измерения дают очень приближенные данные, а наземных атмосферных станций мало и они используют разнотипные приборы и методики измерений. Только с 1993 г. начала создаваться единая мировая сеть атмосферных станций AERONET, позволяющая получать данные об атмосферном аэрозоле по унифицированной методике. Но опять же эти станции размещаются крайне неравномерно по поверхности земного шара, в основном, на территории США и Западной Европы. Так, на громадной территории бывшего Советского Союза пока установлены только 5 станций: в Москве, Томске, Тарту (Эстония), Кишиневе (Молдавия) и Минске (Беларусь).

До последнего времени недостаточно учитывалось изменение величины солнечной радиации. С 1979 г., когда начались точные спутниковые измерения, стало понятно, что солнечная постоянная меняется внутри 11-летних циклов на несколько десятых процента. Это небольшая величина, которая не может вызвать заметных изменений в глобальной температуре. Но у Солнца есть еще целый ряд долговременных циклов. В каких пределах меняется интенсивность его излучения внутри этих циклов? В известной работе Джона Эдди (Эдди, 1976) были увязаны в единую схему все данные по солнечной активности и переменности климата. Д. Эдди утверждал, что средневековой климатический оптимум в 11 – 12 столетия и похолодание в 15 – 17 столетиях совпало с периодами минимума и максимума солнечной активности. Фриис–Кристенсен и Лассен (Фриис–Кристенсен и Лассен, 1991; Лассен и Фриис–Кристенсен, 1995), оценивая 11-летние периоды солнечной активности не по интенсивности, а по длине циклов, получили удивительное соответствие между глобальными температурами и солнечной активностью. (рис. 3). В настоящее время установлено, что переменность солнечного излучения внутри 11-летних циклов в УФ-области спектра достигает десятков процентов, что безусловно влияет на количество общего содержания озона. А вариации в озоновом слое и в эмиссии солнечных частиц (солнечный ветер) могут косвенно влиять на круговорот в атмосфере и на облачность, что, в свою очередь, может привести к значительным климатическим изменениям. Еще в начале семидесятых годов советский астроном Мустель 1972 указывал на реальное воздействие солнечных корпускулярных потоков на нижние слои земной атмосферы и, как следствие, на облакообразование. Позже это нашло экспериментальное подтверждение. Например, лидарные исследования (Касаткина и др. 1999) показали, что во время протонных вспышек на Солнце концентрация аэрозолей может увеличиваться более, чем на 50% на высотах 15 – 25 км.

В свете вышесказанного, можно предполагать, что основными причинами изменения климата Земли являются не столько непосредственные вариации солнечной постоянной, сколько косвенные последствия вариаций в системе солнечно-земных связей. Кроме того, на глобальную температуру Земли могут влиять еще целый ряд и других эффектов. Остается неопределенной величина воздействия антропогенного фактора. Огромное влияние на климат оказывает тепловая инерция океанов. Например, в работе (Ветеральд и др., 2001) показано, что океаны вследствие большой тепловой инерции могут достаточно долго поддерживать глобальную температуру на одном уровне. По-видимому, именно по этой причине глобальная температура не реагирует существенно на вулканические извержения, хотя последние вызывают заметное уменьшение оптической прозрачности атмосферы в течение года и более после извержения (Терез Э. и Терез Г., 2002). В работе (Дэмон и Перистик, 1999) проанализированы имеющиеся несоответствия между длиной солнечных циклов и глобальной температурой. Отмечено, что имеются доказательства, что компонент переменной солнечной активности связан, прежде всего, с 80 – 90 летним циклом Глайсберга (Глайсберг, 1944), а не с длительностью 11-летних циклов. Цикл Глайсберга является первичным, а длительности 11-летних солнечных циклов модулируются циклами Глайсберга (Дэмон и Жирикович, 1992). Но кроме 11-летних и циклов Глайсберга имеется еще целый ряд солнечных циклов (Дэмон и Со-





**Рис. 3.** Кривые аномалий (отклонений) глобальной температуры от некоторого среднего значения (кривая 2, правая шкала) и длительности 11-летних солнечных циклов (кривая 1, левая шкала) (1991).

нет, 1991), и влияние их на глобальный климат пока неясно. Можно лишь утверждать, что в двадцатом веке цикл Глайсберга соответствует (или отвечает) за 25% глобального потепления до 1980 г. и 15% до 1997 г. (Дэмон и Перистик, 1999), а не за все 100% как это представлено в работах Фриис-Кристенсена и Лассена (1991, 1995).

Выше отмечалось, что, согласно астрономической теории Миланковича, долговременные периодические колебания климата вызваны изменением эксцентриситета орбиты Земли вокруг Солнца и прецессией оси вращения Земли. В последние два десятилетия эта теория нашла свое подтверждение в свете новых данных о палеоклимате (Имбри и др., 1992, 1993; Рудимен, 2003). Весьма вероятно, что неравномерность орбитального движения Земли оказывает влияние на климат и в кратковременном масштабе. Существует интенсивное действие на Землю со стороны планет, которое не сводится к гравитационному и которое в первую очередь влияет на атмосферу Земли и вызывает вариации климата планеты. Это действие – модуляция потока солнечной энергии вследствие вариаций положения Земли на орбите вокруг Солнца. (Иванов, 2002).

Отсутствие надежного учета целого ряда явлений приводит к тому, что в настоящее время неопределенность в модельных расчетах разных групп ученых очень велика. Так, например, все модели предсказывают быстрый рост температуры на поверхности Земли и еще более быстрый в верхней тропосфере. Однако это не согласуется с данными спутникового микроволнового зондирования (Кристи, 1995) и наблюдений с помощью радиозондов (Анджел, 1998; Кристи и др., 1998), согласно которым температура в верхней тропосфере остается постоянной и даже немного уменьшается. Попытка объяснить это несоответствие между поверхностной и тропосферной температурами влиянием истощения озонового слоя несколько улучшает ситуацию, но не может полностью объяснить всю проблему (Бенгтсон и др., 1999). К тому же, как показано на рис. 2, цикл уменьшения глобального озона с 1995 г. сменился его возрастанием.

Сейчас заканчивается разработка второй генеральной климатической модели (Community Climate System Model – CCSM 2.0 (Дикинсон и др., 2002). Первая CCSM – 1.0 была опубликована в 1996 г. CCSM 2.0 – модель следующего поколения, которая должна существенно улучшить понимание климатических процессов.

## 7 Социально – политические аспекты климатических изменений

Понятна тревога как ученых, так и мировой общественности в связи с ростом потепления в XX веке и особенно в последние две декады XX-го века. Исследование климата стало приоритетным направлением, создаются многочисленные комитеты, растут выделяемые фонды. Так, в 1986 г. была создана Госкомиссия конгресса США по климату (US National Research Council, NRC), в 1988 г. под эгидой ВМО и United Nations Environment Programme (UNEP) при ООН создается Межправительственный комитет по климатическим изменениям (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Научные отчеты IPCC (IPCC, 1990, 1996, 2001) – наиболее фундаментальные и широко цитируемые документы, в которых суммированы все основные данные об изменении климата, а также социальные последствия этих изменений.

В последние два десятилетия заключен целый ряд региональных и международных соглашений по защите от возможных последствий антропогенного воздействия на земную атмосферу. Основной из них – Киотский протокол (1997), составленный представителями 150 стран в 1997 г. Согласно этому протоколу 38 промышленных стран должны уменьшить эмиссию парниковых газов в целом на 5.2% к 2012 г. по сравнению с уровнем в 1990 г. Чтобы стать общепризнанным юридическим документом, он должен быть ратифицирован всеми правительствами, после чего последует ратификация этого документа в ООН. Это предусматривалось сделать в начале 2002 г. Однако прохождение этого документа сразу же встретило большие трудности. Прежде всего США – ведущая промышленная держава мира, у которой 37% эмиссии парниковых газов, отказалась ратифицировать Киотский протокол. Президент Дж. Буш заявил, что этот протокол неэффективный и несправедливый по отношению к США. Не ратифицировали договор и такие крупные страны, как Китай и Россия. Но идет интенсивная подготовка, разрабатываются технические и экономические вопросы. Дело в том, что согласно Киотскому протоколу развивающиеся страны должны получить кредиты на новые технологии порядка 10 – 17 млрд. долларов. США не согласны с такой суммой. Госдепартамент США заявил, что новые леса в США и Канаде поглощают половину от нормы сокращения выбросов CO<sub>2</sub>, и потому для США процент сокращения CO<sub>2</sub> должен быть пересмотрен. Россия, в принципе, не возражает против ратификации протокола, но не имеет никаких конкретных проектов по сокращению выбросов парниковых газов. Необходимо отметить, что для таких северных стран, как Россия и Канада, потепление климата, равно как и увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере, создают благоприятный эффект для сельского хозяйства. Поэтому понятна позиция этих стран не спешить с ратификацией Киотского протокола.

Необходимо отметить, что президент Дж.Буш выдвинул альтернативный план: не сокращать общий объем выбросов парниковых газов, что привело бы к застою в экономики, а уменьшать интенсивность выбросов. Одновременно предусматривается выделение дополнительных ассигнований на расширение научных исследований. Следует отметить, что в промышленно-развитых странах проблемами глобального климата занимается большое число научных центров. Среди них бесспорным лидером являются США, где исследования по глобальному климату включены в число национальных приоритетов и за последние десять лет на эти цели истрачено более 20 млрд. долларов. В настоящее время в США эти исследования проводятся в 46 крупных научных центрах и постоянно создаются новые. 14 февраля 2002 г., выступая на заседании Национальной администрации по исследованию атмосферы и океана в Силвер Спрингс (Мериленд), Дж. Буш уточнил стратегию администрации США в области снижения эмиссии парниковых газов. А именно, она основана на 18% снижении в следующем десятилетии на единицу экономической деятельности. Учитывая рост промышленности, это не приведет к уменьшению общего объема выбросов парниковых газов. Одновременно Буш подтвердил намерение администрации США увеличить финансирование климатических исследований и заявил о создании нового Комитета по климатическим изменениям и технологическим интеграциям. (Committee on Climate Change and Technology Integration). Национальная конференция по изменению климата (Шоустак, 2002), которая проходила 3 – 5 декабря 2002 г. в Вашингтоне при участии администрации президента Буша (принимало участие 1500 ученых), рассмотрела новый стратегический план США по исследованию изменений глобального климата (CCSP). На конференции, в частности, отмечено, что в существующих сетях наземных ат-

мосферных станций имеются огромные пробелы. Необходимо ускорить создание единой глобальной наблюдательной системы.

## 8 Заключение

Проблема изменения климата – это сегодня не только научная, но и экономическая, и политическая проблема. Ошибки в прогнозе динамики изменения климата чреваты крупными экономическими катастрофами. Яркий пример: прогнозы 50 – 60 гг. (к счастью, несбывшиеся) о неизбежном падении уровня Каспийского моря к 2000 г., что привело к большим геополитическим просчетам и экономическим потерям. В настоящее время цена ошибки несравнимо больше. Для целого ряда государств грядущие климатические изменения – это уже не вопросы геополитики, а проблема выживания.

Подведем итог вышесказанному. Что сегодня достоверно известно о климате?

1. Климат Земли в прошлом характеризовался двумя более или менее устойчивыми состояниями: теплым и ледниковым. Эпохи смены этих режимов сопровождались повышенной нестабильностью вследствие заложенной в самой климатической системе нестабильности, (что имеет место сегодня – последний ледниковый период начал отступать 20 тыс. лет назад). Существует положительная обратная связь между глобальной температурой Земли и возмущающими факторами, провоцирующими климатические сдвиги. Изменения в интенсивности солнечной радиации, как и парниковый эффект не могут полностью прояснить всю картину. Сегодня мы не знаем периоды собственных колебаний климатической системы (т.е. системы: океан – суша – атмосфера) и параметры, от которых эти периоды зависят. Очевидно, что любые внешние воздействия на климатическую систему будут эффективны только тогда, когда они будут действовать в периоды ее нестабильности. В этом случае возможна резонансная раскачка всей климатической системы. Палеоклиматические записи свидетельствуют о наличии в прошлом больших и быстрых климатических колебаний. Так, один из наилучшим образом задокументированных примеров резкой смены климата обнаружен в результате исследований, проведенных в 90-х годах двумя независимыми группами американских и европейских ученых в районе Гренландского плато (Маевский и Уайт, 2002). При анализе ледяных ядер были получены убедительные доказательства, что климат может меняться гораздо быстрее, чем это представляли раньше, а именно за столетия и даже десятилетия. По данным этих исследований в конце позднего Дриаса (Younger Dryas), 8850 – 8300 лет до н.э. (Петит, 1995), температура стала быстро расти и буквально в пределах нескольких десятилетий на смену тундре в Северной Европе и Канаде пришли леса.
2. В XX веке глобальная температура начала расти, причем, особенно быстро два последние десятилетия. Естественный вопрос – не может ли быть потепление климата результатом антропогенного воздействия? Или это просто начало нового естественного цикла потепления? Наиболее вероятно последнее предположение. Ибо в свете всего вышесказанного, можно предположить, что сам по себе антропогенный эффект не может в настоящее время вызвать существенное изменение климата; ибо прямое воздействие антропогенного эффекта незначительно по сравнению с естественными факторами. Но антропогенный эффект мог спровоцировать климатический сдвиг и вызвать новый цикл потепления. Насколько опасно это потепление климата для мирового сообщества? Ответ далеко неоднозначный. Дело в том, что повышение концентрации углекислого газа в атмосфере, с одной стороны, и рост глобальной температуры, с другой стороны, должны заметно повысить общую биопродуктивность и, в частности, урожайность сельскохозяйственных растений. Если для промышленно-развитых стран существует возможность повышения производства продовольствия путем значительного увеличения затрат, то для развивающихся стран с быстро растущим населением этот путь невозможен. Отсюда следует, что восстановление более благоприятных для живых организмов и всей биосферы природных условий, которые существовали на протяжении многих тысячелетий, – очень серьезная проблема. С другой стороны, необходимо учитывать и возможные негативные последствия потепления климата регионального масштаба (наводнения, увеличение количества ураганов и тайфунов,

более засушливый климат в некоторых локальных регионах, ущерб для береговых и островных зон, находящихся на малых уровнях над Мировым океаном и т.д.). В этом случае, будет ли эффективным частичное уменьшение выбросов парниковых газов, предусмотренное Киотским протоколом? Мало вероятно. Тем более, что Киотский протокол не является достаточным фактором для уменьшения роста парниковых газов в атмосфере. Относительно небольшое сокращение поступления в атмосферу газов, усиливающих парниковый эффект, окажет незначительное влияние на повышение температуры. Расчеты показывают, что для стабилизации уровня парниковых газов требуется уменьшение их эмиссии на 60 – 80% по всему миру. А это привело бы к тяжелейшему ущербу для современной мировой энергетики и потребовало бы расходов, нереальных для большинства современных государств. Поэтому вряд ли стоит сегодня драматизировать ситуацию, предвещая глобальную экономическую катастрофу при глобальном потеплении, вызванным ростом антропогенного воздействия. Тем более, что есть существенные основания сомневаться, что это потепление – результат антропогенного воздействия и что начавшийся цикл потепления не сменится в будущем очередным периодом похолодания.

В свете вышесказанного можно рекомендовать в качестве стратегии развития мирового сообщества следующие положения (некоторые из которых уже предлагались ранее в работе Будыко и др., 1991).

1. Необходимо значительное повышение научного уровня исследований всех проблем, связанных с глобальным потеплением; особенно проблем изменения солнечной активности и роста парниковых газов. Внимание к вопросам возрастания солнечной активности важно, потому что мы находимся во временном солнечном максимуме, который очень напоминает средневековый солнечный максимум 1100 – 1250 гг. (Джирикович и Дэмон, 1994). Для лучшего понимания динамики солнечных процессов целесообразно активизировать изучение солнцеподобных звезд.
2. Желательно обосновать наиболее безопасные и экономически доступные пути приспособления хозяйственной деятельности к глобальному потеплению. При этом следует подчеркнуть, что проблемы, вызванные происходящим потеплением, специфичны для каждого региона.
3. В силу отсутствия полного понимания причин изменения климата Земли нецелесообразно разрабатывать и принимать в настоящее время какие-либо глобальные проекты воздействия на климат.

## Литература

- Андерсон (Anderson R.Y.) // *Nature*. 1992. V. 358. P. 51.  
 Анджел (Angell J.K.) // *J. Clim.* 1998. V. 1. P. 1296.  
 Ардани и др. (Ardanuy P., Stowe L.L., Gruber A., Weiss M.) // *J. Geophys. Res.* 1991. V. 96. P. 1.  
 Бенгтсон и др. (Bengtsson L., Roeckner E., Stendel M.) // *J. Geophys. Res.* 1999. V. 104. N. D4. P. 3865.  
 Будыко М.И., Израэль Ю.А., Яншин А.Л. // *Метеорология и гидрология*. 1991. № 12. С. 5.  
 Вегенер (Wegener A.). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Braunschweig, 4 Ed. 1929. 135 s.  
 Ветеральд и др. (Wetherald R.T., Stouffer R.J., Dixon K.W.) // *Geophys. Res. Lett.* 2001. V. 28. P. 1535.  
 Глайсберг (Gleissberg W.) // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1944. V. 49. P. 243.  
 Джирикович и Дэмон (Jirikowic J.L., Damon P.E.) // *Climatic Change*. 1994. V. 26. P. 309.  
 Джоунс и др. (Jones P.D., Wigley T.M.L., Wright P.B.) // *Nature*. 1986. V. 322. P. 430.  
 Джоунс Ф.Д., Уигли Т.М.Л. // *В мире науки (Scientific American)*. 1990. № 10. С. 62.  
 Джоунс и Бриффа (Jones P. D., Briffa K.R.) // *Holocene*. 1992. V. 1. P. 165.  
 Джоунс и др. (Jones P. D., Osborn T.J., Briffa K.R.) // *Journal of Climate*. 1997. V. 10 (10). P. 2548.  
 Джоунс и др. (Jones P.D., Parker D.E., Osborn N.J., Briffa K.R.) *Global and hemispheric temperature anomalies - land and marine instrumental records // Trends: A Compendium of Data on Global Change*. 1998. CDIAC, ORNL, Oak Ridge.

- Дикинсон и др. (Dickinson R.E., Kiehl J., Gent P.) // *Eos, AGU Transactions*. 2002. V. 83. N. 11. P. 119.
- Дэмон и Джирикович (Damon P.E., Jirikowic J.L.) // *Radiocarbon*. 1992. V. 34. P. 199.
- Дэмон и Перистик (Damon P.E., Peristyk A.N.) // *Geoph. Res. Letters*. 1999. V. 26. P. 2469.
- Дэмон и Сонет (Damon P.E., Sonett C.P.) Solar and terresrial componens of the atmospheric 14 C variation spectrum // *The Sun in Time*. 1991. Ed. C.P.Sonett, V.S.Giampapa, M.S.Matthews. Univ. of Arisona Press, Tucson. P. 360.
- Иванов В.В. // *УФН*. 2002. Т. 172. №. 7. С. 777.
- Имбри и др. (Imbrie J., at al.) // *Paleoceanogr*. 1992. V. 7. P. 701.
- Имбри и др. (Imbrie J., at al.) // *Paleoceanogr*. 1993. V. 8. P. 699.
- Кароли (Karoly D.) // *SPARC*. 2001. N. 16. P. 16.
- Кароль И.Л. // *Метеорология и гидрология*. 1996. N. 11. С. 5.
- Касаткина Е.А., Шумилов О.И., Вашенюк Е.В. // *Космич. исследования*. 1999. Т. 37. N. 2. С. 163.
- Киотский протокол, 1997. <http://www.unfccc.de>.
- Кондратьев К.Я., Байбаков С.Н., Никольский Г.А. // *Наука в СССР*. 1985. N. 2. С. 3, N. 3. С. 3, 97.
- Кондратьев К.Я. // *Глобальный климат*. С.-Петербург: Наука. 1992. С. 358.
- Кристи (Christy J.R.) // *Clim.Change*. 1995. V. 31. P. 455.
- Кристи и др. (Christy J.R., Spenser R.W., Lobl E.S.) // *J.Clim*. 1998. V. 11. P. 2016.
- Лассен и Фриис-Кристесен (Lassen K., Friis-Christensen E.) // *J. Atmos. Terr. Physics*. 1995. V. 57. N. 8. P. 835.
- Леви (Levi, B.G.) // *Physics Today*. 2000. N. 1. P. 19.
- Линдцен (Lindzen R.S.) // *Bull. Am. Meteorol. Soc*. 1990. V. 71. P. 288.
- Лоренц (Lorenz E.N.) // *J.Appl.Meteor*. 1970. V. 9. P. 325.
- Лэдли и др. (Ledley T.S., Sundquist E.T., Schwartz S.E., Hall D.K., Fellows J.D., Killeen T.L.) // *Eos, AGU Transactions*. 1999. V. 80. N. 39. P. 453.
- Маевский и Уайт (Mayewski P.A.and White F.) // *The Ice Chronicles: The Quest to Understand Global Climate Change*. – University Press of New England, Hanover N.H. 2002.
- Манн и др. (Mann M. E., Bradley R.S., Hughes M.K.) // *Nature*. 1998. V. 392 (6678). P. 779.
- Манн и др. (Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K.) // *Geophys. Research Letters*. 1999. V. 26. P. 759.
- Мачида и др. (Machida T., Nakazawa T., Fujii Y., Aoke S., Watanabe O.) // *Geophys. Research Letters*. 1995. V. 22. P. 2921.
- Межправительственный комитет по климатическим изменениям. (IPCC, 1990). *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment*. Edited by J.T.Houghton et al., Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1990. P. 365.
- Межправительственный комитет по климатическим изменениям. (IPCC, 1995). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by J.T. Houghton et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK. 1996. P. 572.
- Межправительственный комитет по климатическим изменениям. (IPCC, 2001). *Climate Change 2001: The contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by J.T.Houghton et al., Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2001. P. 881.
- Миланкович М. // *Математическая климатология и астрономическая теория климата*. - М.-Л.: Гос. научно-техн. изд-во. 1939. С. 207.
- Мустель Э.Р. // *Научные информации Астросовета АН СССР*. 1972. Вып. 24. С. 5.
- Ней (Ney E.R.) // *Nature*. 1959. V. 183. P. 451.
- Николс и др. ( Nicholls N., Gruza G.V., Jouzel J., Karl T.R. , Ogallo L.A., Parker D.E.) Observed climate variability and change, in *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. - Edited by J. T. Houghton, L. G. M. Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1996. P. 133.
- Оринг и Клэпп (Ohring G. and Clapp P.F.) // *J.atmosph. Sci*. 1980. V. 37. P. 447.
- Пеннер и др. (Penner, J.E., Chuang C.C., Grant K.) // *Clim. Dyn*. 1998. V. 14. P. 839.

- Петит (Peteet D.) // *Quatern. Int.* 1995. 28. P. 93.
- Раманатан и др. (Ramanathan V., Cess R.D., Harrison E.F., Minnis P., Barkstrom B.R., Ahmad E., Hartmann D.) // *Science*. 1989. V. 243. P. 57.
- Рудимен (Ruddiman W.F.) // *Quat. Sci. Rev.* 2003. V. 22. P. 1597.
- Свенмарк и Фриис-Кристенсен (Svensmark H., Friis-Christensen E.) // *J.Atmos.Sol.Terr.Phys.* 1997. V. 59. P. 1225.
- Спенсер и Брезвэл (Spencer R.W., Braswell W.D.) // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1997 V. 78. P. 1097.
- Терез Э.И., Терез Г.А. // *Геомагнетизм и аэрономия*. 1994. Т. 34. N. 5. С. 151.
- Терез Э. И., Терез Г.А. (Terez E.I., Terez G.A.) // *J. of Atmosph. And Terr. Phys.* 1996. V. 58. P. 1849.
- Терез Э., Терез Г. (Terez E.I., Terez G.A.) // *J. Appl. Meteorology*. 2002. V. 41. N. 10. P. 1060.
- Тет и др. (Tett S.F.B., Mitchell J.F.B., Parker D.E., Allen M.R.) // *Science*. 1996. V. 274. P. 1170.
- Турко и др. (Turco R.P., Toon O.B., Ackerman T.P., Pollack J.B., Sagan C.) // *Science*. 1983. V. 222. N. 4630. 1283.
- Туун и др. (Toon O.B., Zahnle K., Turco R.P., Covey C.) *Environmental perturbations caused by asteroid impacts.* – In: *Hazards due to comets and asteroids*: Ed. T.Geherels, Tucson: The University of the Arizona Press. 1994. С. 791.
- Фриис-Кристесен и Лассен (Friis-Christensen E., Lassen K.) // *Science*. 1991. V. 254. P. 698.
- Хансен и Лебедев (Hansen J., Lebedeff S.) // *J. Geophys. Res.* 1987. V. 92. P. 13345.
- Хансен и др. (Hansen J.E., Sato M., Lacis A., Ruedy R., Tegen I., Matthews E.) // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1998. V. 95. P. 12753.
- Хаугтон и др. (Houghton, J. T., Filho L.G.M., Bruce J., Lee H., Callander B.A., Haites E., Harris N., Maskell K.) // *Radiative forcing of climate change.* In *Climate Change 1994*, Cambridge University Press, Cambridge. 1995. P. 231.
- Шеферд (Sheferd A.), 2000. <http://www.nsidc.org>
- Шоустак (Showstack R.) // *Eos, AGU Transactions*. 2002. V. 83. N. 52. P. 614
- Эдди (Eddy J.) // *Science*. 1976. V. 192. P. 1189.
- Этеридж и др. (Etheridge D., L., Steele R., Langenfelds R., Francey R., Barnola J., Morgan V.) // *J. Geophys. Res.* 1996. V. 101. P. 4115.
- Этеридж и др. (Etheridge D. M., Steele L.P., Francey R.J., Langenfelds R.L.) // *J. Geophys. Res. Atmos.* 1998. V.103. P. 15979.
- Яворовский (Jaworowski Z.) // *Physics today*. 1999. N. 9. P. 24.